

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-15621

(43) 公開日 平成8年(1996)1月19日

(51) Int.Cl.<sup>9</sup>

G 0 2 B 26/08

識別記号

E

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平6-146178

(22) 出願日 平成6年(1994)6月28日

(71) 出願人 000006507

横河電機株式会社

東京都武蔵野市中町2丁目9番32号

(72) 発明者 羽田 聖治

東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河

電機株式会社内

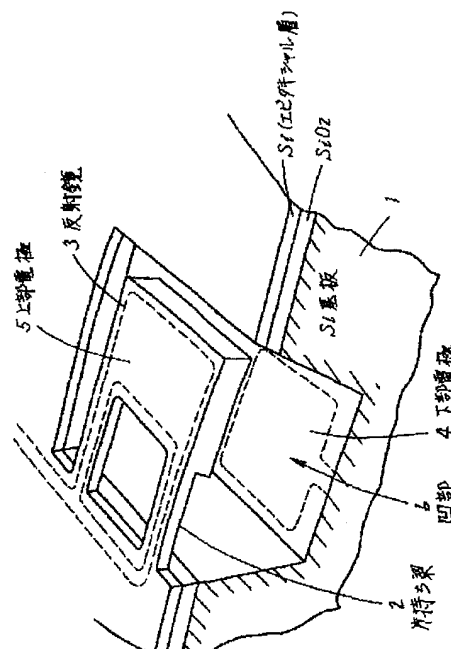
(74) 代理人 弁理士 小沢 信助

(54) 【発明の名称】 光スイッチ

(57) 【要約】

【目的】 光路切替機構部を小型軽量化すると共に静電気力を利用して機構部を駆動することにより、低消費電力化と光路切替速度の高速化を図ると共に実用上十分な強度を有する光スイッチを実現する。

【構成】 シリコン基板に凹部が形成され、この凹部の表面に反射鏡および上部電極を有するシリコン製片持ち梁の偏向素子が設けられ、凹部の底面に下部電極が形成され、上部電極および下部電極間に電荷を加えて梁にたわみを生じさせ反射鏡を傾斜させることにより、反射鏡からの出射光の光路を切り替え得るように構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】シリコン基板に凹部が形成され、前記凹部の表面に反射鏡および上部電極を有するシリコン製片持ち梁の偏向素子が設けられると共に前記凹部の底面に下部電極が形成され、前記上部電極および下部電極間に電荷を加えて前記梁にたわみを生じさせ前記反射鏡を傾斜させることにより、反射鏡からの出射光の光路を切り替え得るように構成したことを特徴とする光スイッチ。

【請求項2】シリコン基板に凹部が形成され、前記凹部の表面に反射鏡および上部電極を有するシリコン製片持ち梁の偏向素子が設けられると共に前記凹部の底面に下部電極が形成された光スイッチを複数個2次元状に配列し、前記上部電極と下部電極間に電荷を加えて前記梁にたわみを生じさせ前記反射鏡を傾斜させることにより、各反射鏡からの出射光の光路を個別に切り替え得るように構成したことを特徴とする光スイッチ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光スイッチに関するもので、詳しくは光スイッチにおける低消費電力化と光路切替え速度向上を図った光スイッチに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来の光スイッチは、主としてソレノイドなどのアクチュエータを使って光ファイバそのものまたはプリズムなどの光学部品的位置を変えることにより光路を切り替える方式のものであった。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、この種の光スイッチでは、可動部の形状や重量が大きいため、消費電力が大きい（例えば1W程度）と共に、切替え速度が遅く（例えば数十m秒）、また取り付け方向によっては動作しない等の問題があった。

【0004】本発明の目的は、このような点に鑑み、光路切替え機構部を小型軽量化すると共に静電気力を利用して機構部を駆動することにより、低消費電力化と光路切替え速度の高速化を図ると共に実用上十分な強度を有する光スイッチを提供することにある。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】このような目的を達成するために本発明では、シリコン基板に凹部が形成され、この凹部の表面に反射鏡および上部電極を有するシリコン製片持ち梁の偏向素子が設けられると共に凹部の底面に下部電極が形成され、上部電極および下部電極間に電荷を加えて梁にたわみを生じさせ反射鏡を傾斜させることにより、反射鏡からの出射光の光路を切り替え得るように構成したことを特徴とする。また本発明の他の発明は、上記第1の発明の光スイッチを複数個2次元状に配列し、各反射鏡で個別に光路を切り替え得るように構成したことを特徴とする。

## 【0006】

【作用】上部電極と反射鏡付きのシリコン製片持ち梁の偏向素子は、コンデンサとしての構造を持ち、上部電極と下部電極の間に電圧を印加すると吸引力が生じ、梁がたわむ。梁のたわみにより反射鏡の角度が変化し、出射光の光路が変わる。偏向素子は小型、軽量であり、静電気により駆動できるため、高速に動作し、消費電力も少ない。また、実用上十分な機械的強度も有する。

## 【0007】

【実施例】以下図面を用いて本発明を詳しく説明する。はじめに本発明の光スイッチを利用した光路切替え装置について簡単に説明する。図9はその光路切替え装置の一例を示す簡略構成図である。図において、光ファイバ出力端41aから出射された光は入力部42を経由して偏向素子45に入射する。入力部42はコリメートレンズ43aおよび集光レンズ44aから構成され、ファイバから出射された発散光を偏向素子上に集光させるためのものである。偏向素子45は光スイッチにおける変形可能な部分であり、反射鏡付片持ち梁（詳細は後述する）である。偏向素子45の表面は反射鏡となっており、ここで反射した光は出力1または出力2へ向かう。出力1、出力2とも集光レンズとコリメートレンズを通してファイバ入力端41bまたは41cへ入射するようになっている。

【0008】この偏向素子はコンデンサの構造を持ち、電極間に電圧を印加すると梁がたわみ、反射鏡の角度が変わるようになっている。偏向素子は、コンデンサの放電時には図10(a)に示すように反射光が出力1側へ反射するようにたわみ、他方充電時には図10(b)に示すように出力2側へ反射するようにたわむ。

【0009】このような光スイッチの詳細を以下に説明する。図1は本発明に係る光スイッチの構成を示す斜視図、図2はその寸法の一例を示す図である。

【0010】片持ち梁2は、Si基板1に異方性エッチングにより形成された窪み状の凹部6の中に選択エッチャキシャル法と異方性エッチングを利用して作られる。片持ち梁2の表面の反射鏡3の部分（ほぼ $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ ）は歪みが生じないように梁の部分（厚さ $2\mu\text{m}$ ）に比べて板厚が厚くなっている（ $5\mu\text{m}$ ）。反射鏡3は梁（2本であり、それぞれ $5\mu\text{m}$ の幅を有する）で支持されており、ねじれに対する安定性を確保した構造となっている。

【0011】次に、このような構造の光スイッチの作成方法について手順を追って説明する。

## (1) 基板加工

n形(100)シリコン基板に酸化シリコン( $\text{SiO}_2$ )をマスクとして水酸化カリウム(KOH)水溶液などで異方性エッチングを行い、梁2を作るための凹部6（上部の開口部がほぼ $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ ）を形成する。

## (2) 下部電極形成

3

凹部6の底面に対して、例えばモリブデン(Mo)などで下部電極層をスパッタリング法により形成し、フォトリソグラフィ法でストライプ状に下部電極4を作る。

【0012】(3) 犠牲層(p<sup>+</sup>層)の成長

p形不純物(例えばボロンB)を添加しながら空洞部となる部分(犠牲層p<sup>+</sup>)を化学的気相成長法(CVD)による選択エピタキシャル成長を行い、穴埋めを行う。

(4) 反射鏡用窪みの作成

犠牲層の上にSiO<sub>2</sub>でマスクを作り、例えばヒドラジン(N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)で反射鏡となる窪みをエッチングする。

(5) 梁(p<sup>++</sup>)の成長

犠牲層より高濃度のBを添加して、梁となる部分のp<sup>++</sup>層の選択エピタキシャル成長を行う。

(6) 犠牲層の除去

不純物濃度によりエッチング速度が異なる性質を持つヒドラジンで異方性エッチングを行い、犠牲層(p<sup>+</sup>層)を除去する。

(7) 上部電極の形成

最後に反射鏡3となる部分に例えば反射率の高いアルミニウム(Al)をスパッタリングし、フォトリソグラフィ法で上部電極を形成する。

【0013】このようにして形成された偏向素子の動作について説明する。偏向素子(反射鏡付き片持ち梁2)はコンデンサの構造となっているので、上下電極間に電圧を印加すると梁および反射鏡と基板の間に電荷が蓄積され、反射鏡3は凹部6の底の方向へ引っばられて梁にたわみが生じる。このたわみにより反射鏡の角度が変わり、反射光の光路を変えることができる。

【0014】以下反射鏡のたわみおよび傾きについて説明する。上下電極間に蓄積した電荷Qにより生じる反射鏡と基板間に生じる吸引力Wは、クーロンの法則から、 $W=Q^2/(4\pi\epsilon_0 d^2)$

ただし、 $\epsilon_0$ は真空の誘電率で $8.85 \times 10^{-12}$

dは反射鏡と基板の間隔

となる。外部電圧Vにより蓄積される電荷Qおよび反射鏡と基板で形成されるコンデンサの静電容量Cは次式で与えられる。

$$Q=CV$$

$$C=\epsilon_0 BH/d$$

ただし、Bは反射鏡の幅

Hは反射鏡の長さ

【0015】さて、上下電極間に5Vの電圧を印加した場合の吸引力Wを求めると、

$$W=\epsilon_0 V^2 S^2 / (4\pi d^4) \\ =1.76 \times 10^{-11} \quad [N]$$

ただし、Vは上下電極間に印加する電圧:5V

Sは反射鏡の面積(B×H)

となる。

【0016】梁2の先端部の傾き角 $\theta_b$ は、

$$\theta_b = F l^2 / (2 E I z^2)$$

4

となる。ここで、Fは先端部に加わる加重、lは梁の長さである。本発明では梁が2本あるので $F=W/2$ となる。また、Izは梁の断面2次モーメントで $Iz=bh^3/12$ (ただし、bは梁の幅、hは梁の厚さ)で与えられる。Eは弾性係数で、シリコンの場合は約 $1 \times 10^{11}$  [dyn/cm<sup>2</sup>]である。これらの値を上式に代入すると、

$$\theta_b = 30^\circ$$

となる。

10 【0017】梁の先端部における変位量Ybは次式で与えられる。

$$Yb = F l^3 / 3 E I z \\ = 7.04 \times 10^{-6} \quad [m]$$

となる。

【0018】以上のように、上下電極間に5Vの電圧を印加すると、

反射鏡の傾き角 $\theta_b$ は、 $\theta_b = 30^\circ$

反射鏡の先端部の変位量 $Ym=Yb+L \cdot \tan(\theta_b) = 18.5 \mu m$

20 となる。

【0019】図3は偏向素子の変形の様子を示す断面図であり、同図(a)は電極間を短絡する放電時の状態、同図(b)は5V印加時の状態を示したものである。放電時は反射鏡3が水平であり、垂直に入射する光を垂直に反射する。5V印加時は、反射鏡3の先端部が18.5 $\mu m$ 変位し、垂直に入射する光を反射角60°で反射する。

【0020】このような構造の光スイッチは従来の重量の大きい可動部に比べて極めて小型軽量であり、より高速に変形し、光路の切替え速度も高速である。また消費電力も少なくすむ。

【0021】なお、本発明の光スイッチは実施例に限定されるものではなく、形状や寸法、印加電圧等は本発明の目的を逸脱しない範囲で適宜変えることができる。

【0022】次に本発明の光スイッチを利用した反射形空間光制御素子について説明する。反射形空間光制御素子は図1に示す光スイッチを2次元状に複数個配列した光スイッチであり、例えば投射型ディスプレイ等に応用される。図4は投射ディスプレイの一構成例を示す図であり、光源11から出た光は空間光制御素子(この例では、液晶パネル)12でON/OFFされ、レンズ群13を通してスクリーン14上に画像が形成されるように構成されたものである。

【0023】しかしながら、空間光制御素子を液晶パネルとした場合はその開口率が低いことや構成部品個々の透過率が低いことのために、光の利用効率が低く、光量の大きな光源が必要となり、大きな消費電力や発熱などの問題を引き起こす。また、Siウェーハ上にマイクロマシン技術を使って作成したミラー・アレイを空間光制御素子とする例もあるが、ミラー部の機械的な強度の不

50

足、実装工程における作業や実使用状態での強度不足という問題点があった。本発明による反射形空間光制御素子はこれらの問題を一挙に解決するもので、図1に示す光スイッチを図5に示すように縦横にマトリックス状に配置し、上部電極5については横一列の素子ごとに共通接続し、下部電極4については縦一列の素子ごとに共通接続してある。投射型ディスプレイに応用した場合、1素子が1画素に相当し、例えば、640×400ドットの画面を構成する場合には256000素子を配列することになる。

【0024】この空間光制御素子は液晶ディスプレイなどの単純マトリックスディスプレイで用いられている線順次方式で駆動できる。駆動回路の一例を図6に示す。光スイッチの上下各電極にはそれぞれスイッチを設け、データ線は5V/GND(GNDはコモンラインの電位)、選択線は2.5V/GNDにそれぞれ切替えられるようになっている。

【0025】表示画素の選択は次の2つの手順で行われる。

(1) 表示ラインの選択(選択線の選択)

表示するラインのスイッチをGND側に接続し、表示しないラインのスイッチを2.5V側に接続する。

(2) データ線の選択

データ列のスイッチは表示データ(表示するかしないかを表わすデータ)に応じて5VまたはGNDに切替える。

【0026】上記の選択により、表示画素の上下電極間には5Vが印加され、非表示画素の電極間には2.5Vの電圧が印加されることになる。この時の表示画素、非表示画素の反射鏡および反射光の様子を図7に示す。このようにして順次選択ラインを操作しながら表示データを送ることにより画像データをスクリーン上に投射することができる。

【0027】図8に反射形投射ディスプレイの構成の一例を示す。制御回路24により表示ラインのスイッチ22とデータ列のスイッチ23が選択され、空間光制御素子21が駆動され、光源11からの入射光が反射される。表示画素の反射鏡で反射した表示光は投射レンズ系13(コリメート用レンズと集光用レンズから構成される)を通してスクリーン14上に投射される。非表示光の方は反射角が小さく投射レンズ系13に入射せず、スクリーン14に当たらないようにしている。なお、電源25はスイッチ22、23に5Vおよび2.5V電圧を供給する。

【0028】このように図1の光スイッチを2次元状に配列した空間光制御素子は、反射鏡と光スイッチ本体を

シリコンの支持梁で確実に連結したものであるため、素子形成後の実装や取り付けにおける振動ないし衝撃に対して強く、実装工程の簡略化および信頼性の向上につながる効果がある。

【0029】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば次のような効果を有する光スイッチを容易に実現することができる。

- (1) 小型、軽量である。
- (2) 高速動作が可能である。
- (2) 取り付け方向の制限がない。
- (3) 消費電力は従来のものに比べて極めて少ない。
- (4) 反射鏡部は実用上十分な強度がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る光スイッチの一実施例を示す構成の斜視図である。

【図2】本発明の光スイッチの各部の寸法の一例を示す図である。

【図3】偏向素子の変形の様子を示す図である。

【図4】投射ディスプレイの一例を示す構成図である。

【図5】2次元状に配列された光スイッチの一例を示す構成図である。

【図6】図5の光スイッチの駆動回路の一例を示す図である。

【図7】図5の光スイッチにおける表示素子と非表示素子の反射の様子を示す図である。

【図8】反射形投射ディスプレイの一実施例を示す構成図である。

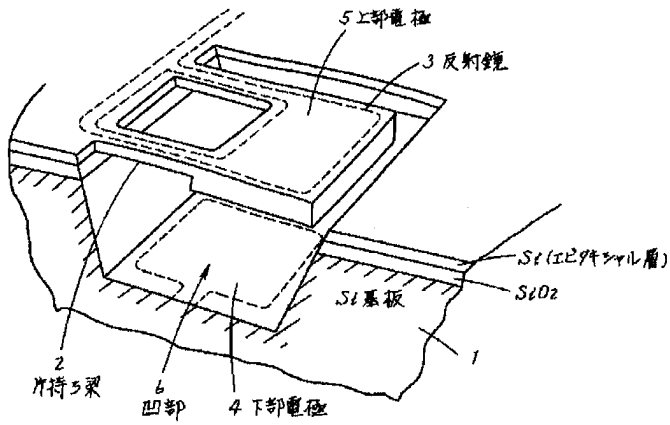
【図9】光路切替え装置の一例を示す簡略構成図である。

【図10】光スイッチの動作を説明するための図である。

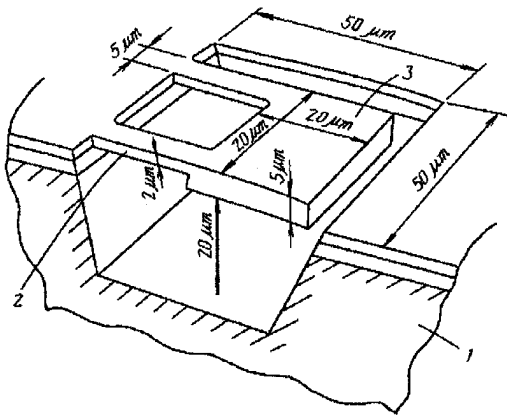
【符号の説明】

- 1 基板
- 2 片持ち梁
- 3 反射鏡
- 4 下部電極
- 5 上部電極
- 6 凹部
- 11 光源
- 13 投射レンズ
- 14 スクリーン
- 22, 23 スイッチ
- 24 制御回路
- 25 電源

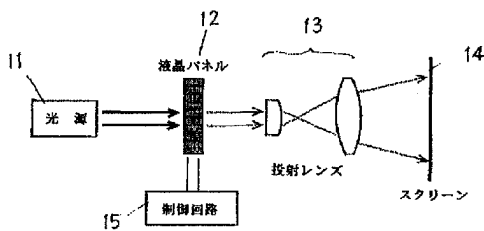
【図1】



【図2】

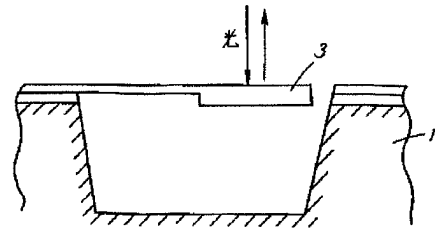


【図4】

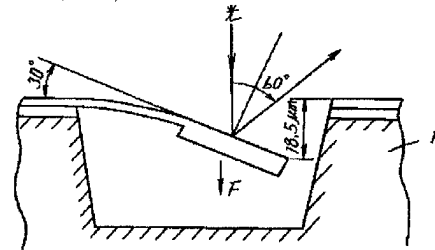


【図3】

(a) 放電(電極短絡)時

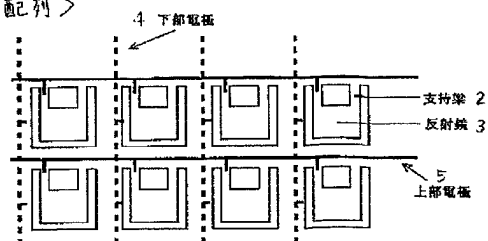


(b) 5V印加時

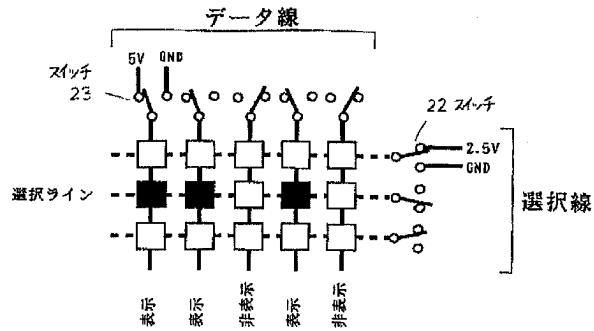


【図5】

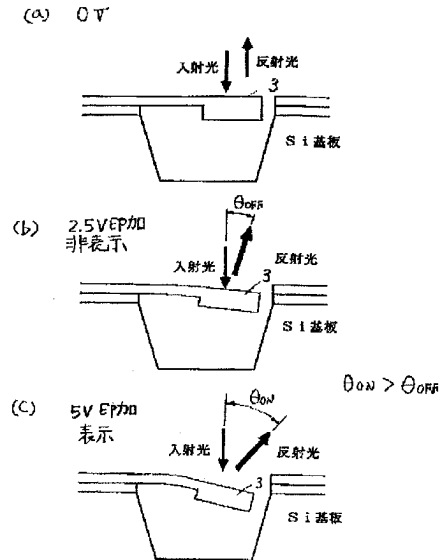
&lt;配列&gt;



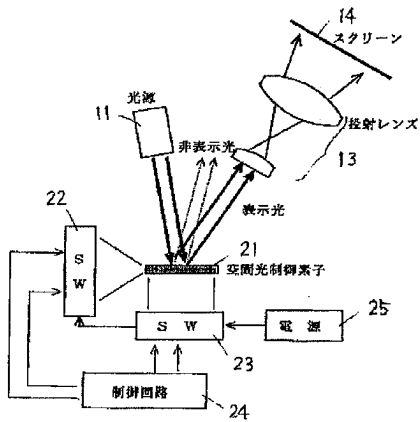
【図6】



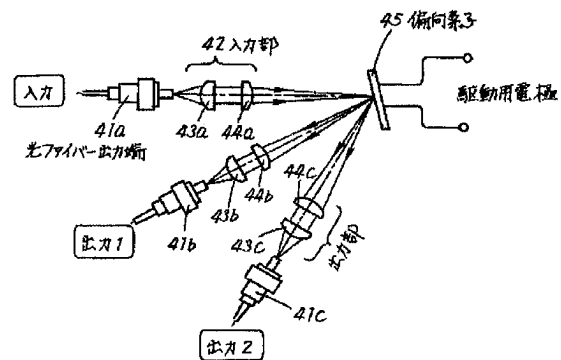
【図7】



【図8】

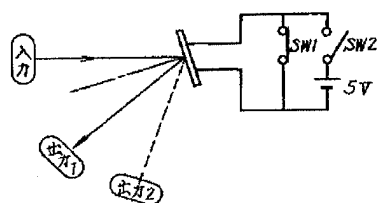


【図9】

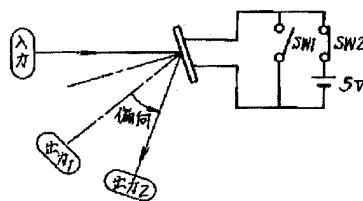


【図10】

(a) 放電時



(b) 充電時



CLIPPEDIMAGE= JP408015621A

PAT-NO: JP408015621A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 08015621 A

TITLE: OPTICAL SWITCH

PUBN-DATE: January 19, 1996

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

HANEDA, SEIJI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

YOKOGAWA ELECTRIC CORP

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP06146178

APPL-DATE: June 28, 1994

INT-CL (IPC): G02B026/08

ABSTRACT:

PURPOSE: To reduce power consumption, to increase an optical path switch speed and to provide sufficient strength by miniaturizing and thinning an optical path switch mechanism part, utilizing an electrostatic force and driving the mechanism part.

CONSTITUTION: A recessed part 6 is formed on a silicon substrate 1, and a deflection element of a silicon made cantilever 2 provided with a reflection mirror 3 and an upper electrode 5 are provided on the surface of the recessed part 6. A lower electrode 4 is formed on the bottom surface of the recessed part 6, and an electric charge is imparted between the upper electrode 5 and the lower electrode 4, and the cantilever 2 is fluxed, and by inclining the



reflection mirror 3, an optical path of an outgoing beam from the reflection mirror 3 is switched. That is, the deflection element of the cantilever 2 provided with the upper electrode 5 and the reflection mirror 3 is provided with a structure as a capacitor, and when a voltage is applied between the upper electrode 5 and the lower electrode 4, attraction force occurs and the cantilever 2 is flexed, and the angle of the reflection mirror 3 is changed, and the optical path of the outgoing beam is changed. Since the deflection element is miniaturized and light in weight, and is driven by the electrostatic force, thereby, it is operated at high speed, and power consumption is reduced.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO